

地震時変位における震央距離減衰特性の経験的評価

Empirical Evaluation of Distance-Attenuation Characteristics of Coseismic Displacements

池田翔一 梅野健

Shoichi Ikeda Ken Umeno

京都大学大学院 情報学研究科 数理工学コース

Department of Applied Mathematics and Physics, Graduate School of Informatics, Kyoto University

1. まえがき

GNSS 座標変位データを用いた地震時変位の震央距離に対する減衰特性を経験的に評価する研究は少ない。理論的には特定条件下において地震時変位は震央距離の 2 乗に反比例することが示されており [1][2], 2003 年十勝地震 (Mw:8.3) などの大地震において理論的結果に整合した結果が得られている [3]。一方, 2011 年東北沖地震 (Mw:9.0) に伴う地震時変位と震央距離依存性に関しては, 近地場では理論と比較して急激に減衰し, 遠地場では緩やかな減衰が報告されており, 理論的事実と観測的事実の乖離が示されている [4]。このように, 個別の大規模地震を対象にした経験的な距離減衰則は一定数報告されているものの, 理論的な予測との整合性には地震毎にばらつきが見られ, 必ずしも一貫した傾向が示されていない。

したがって, 小規模地震を含む多数の地震を対象にした統計的な距離減衰特性の評価の必要性が挙げられる。本研究では, 2009 年から 2024 年において日本広域で発生した地震を対象に, 地震時変位, 震央からの距離及び地震の規模を表すモーメントマグニチュード (Mw) の関係性を統計的に評価する。

2. 手法

Nevada Geodetic Laboratory にて公開されている 5 分間隔の GPS 時系列データを使用する [5][6]。各観測点の座標は搬送波位相を 5 分ごとに間引いて用いたキネマティック PPP (高精度単独測位) により推定されている [7]。なお, 地震発生前の位置推定は地震に伴う地殻変動の影響を受けないようになっている [7]。

各 GNSS 観測局における地震前後の平衡位置の差分を地震時変位 (Coseismic displacement) として定める。地震毎に, 地震時変位の絶対値及び震源からの距離に対して距離の $-\alpha$ 乗で減衰するべき関数をフィッティングさせることで減衰率 $-\alpha$ を算出し, モーメントマグニチュード別の距離減衰率の評価を行う。

3. 今後の展望

本研究で算出した地震時変位量については, 小規模地震の場合や, たとえ大規模地震であっても震源から遠方に位置する観測点では, 地殻変位成分が観測雑音に埋没するため, 本来の信号を抽出できていない可能性が挙げられる。同様の議論として, 地震発生前の断層滑り (プレスリップ) 検出においても本来の地殻変位成分を十分に検出できていない

可能性が指摘されている。[7] は GPS データを用いて世界各地で発生した大規模地震に対する地震発生約 2 時間前から地震直前における断層滑り (プレスリップ) を検出した研究であるが, 検出されたプレスリップ信号が観測データに含まれる Common Mode Error (共通モード誤差) によるものではないかという批判がある。

そこで, SN 比の向上, 及び本来の地殻変位成分と Common Mode Error の分離を目的として相関解析法 (CRA 法) を用いた解析が今後の展望として挙げられる。信号の時空間的な相関を取る相関解析法は, これまで主に地震発生前の電離圏異常の検出に用いられてきたが [8][9], 地殻変動検出においても信号対雑音比を改善する上では有効な手法であると考えられる。

参考文献

- [1] Aki, K. and Richards, P. G. (1980), Quantitative seismology: Theory and methods (Vols. 1-2), San Francisco: W. H. Freeman
- [2] Lay, T., and Wallace, T. C. (1995), Modern global seismology, San Diego, CA: Academic Press
- [3] Crowell, B.W., Bock, Y., and Squibb, M.B. (2009), Demonstration of earthquake early warning using total displacement waveforms from real-time GPS networks, Seismological Research Letters, 80(5), 772-782, doi:10.1785/gssrl.80.5.772
- [4] Xu, P. (2025) High-rate GNSS detects the near- and far- field effects of displacements during the 2011 Tohoku Mw9.0 earthquake, Tectonophysics, 907, 230743, doi:10.1016/j.tecto.2025.230742
- [5] Nevada Geodetic Laboratory, <http://geodesy.unr.edu>.
- [6] Geoffrey Blewitt, William Hammond, and Corn Kreemer (2018), Harnessing the gps data explosion for interdisciplinary science, Eos, 99(2), e2020943118, doi:10.1029/2018EO104623
- [7] Bletery, Q. and Nocquet, J.-M. (2023), The precursory phase of large earthquakes, Science, 381(6655), 297-301, doi:10.1126/science.adg2565
- [8] Iwata, T., and K. Umeno (2016), Correlation analysis for preseismic total electron content anomalies around the 2011 Tohoku-Oki earthquake, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, 8969-8984, doi:10.1002/2016JA023036.
- [9] Iwata, T. and K. Umeno (2017), Preseismic ionospheric anomalies detected before the 2016 Kumamoto earthquake, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 3602-3616, doi:10.1002/2017JA023921.